



APRESENTAÇÃO

Seja bem-vindo!

Os dispositivos lógicos programáveis (*Programmable Logic Devices* – PLDs) começaram a ser introduzidos na década de 1970, com o intuito de produzir circuitos de lógica combinacional que pudessem ser programados. Os PLDs são *chips* com os quais o *hardware* pode ser configurado para atender a diversas especificações. Em geral, são usados para implementar funções lógicas, permitindo ao usuário programar o *chip* via *software*.

Nesta Unidade de Aprendizagem, você compreenderá a lógica programável, bem como as etapas e os componentes de um projeto que utiliza dispositivos lógicos programáveis.

Bons estudos.

Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Reconhecer a lógica programável.
- Identificar os componentes de um projeto utilizando os dispositivos lógicos programáveis.
- Classificar os dispositivos lógicos programáveis.

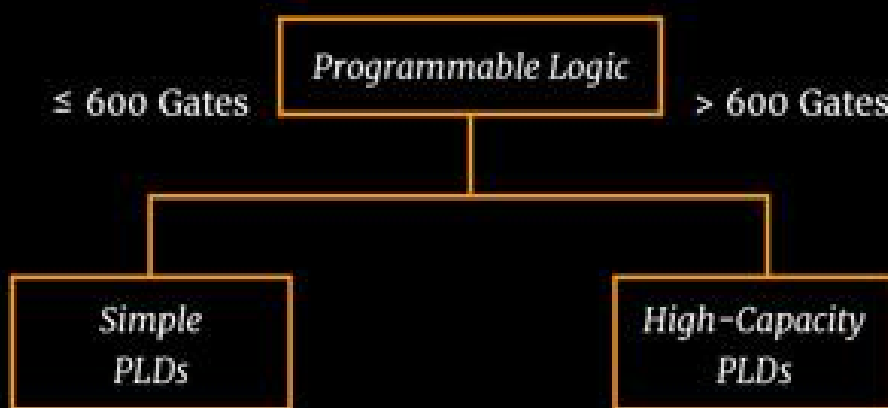


INFOGRÁFICO

Os dispositivos lógicos programáveis (PLDs) têm como principal característica a capacidade de programação (configuração) pelo usuário, eliminando o processo de fabricação e facilitando assim as mudanças de projetos. Veja neste infográfico o princípio de funcionamento de um PLD.

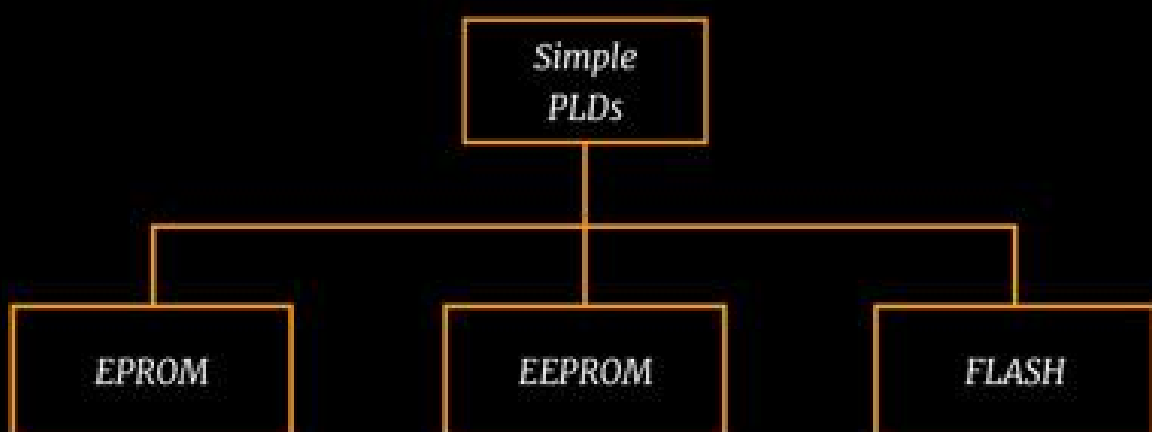
TIPOS DE DISPOSITIVOS PROGRAMÁVEIS

Os PLDs podem ser simples ou de alta capacidade.



PLDS SIMPLES (SIMPLE PLDS)

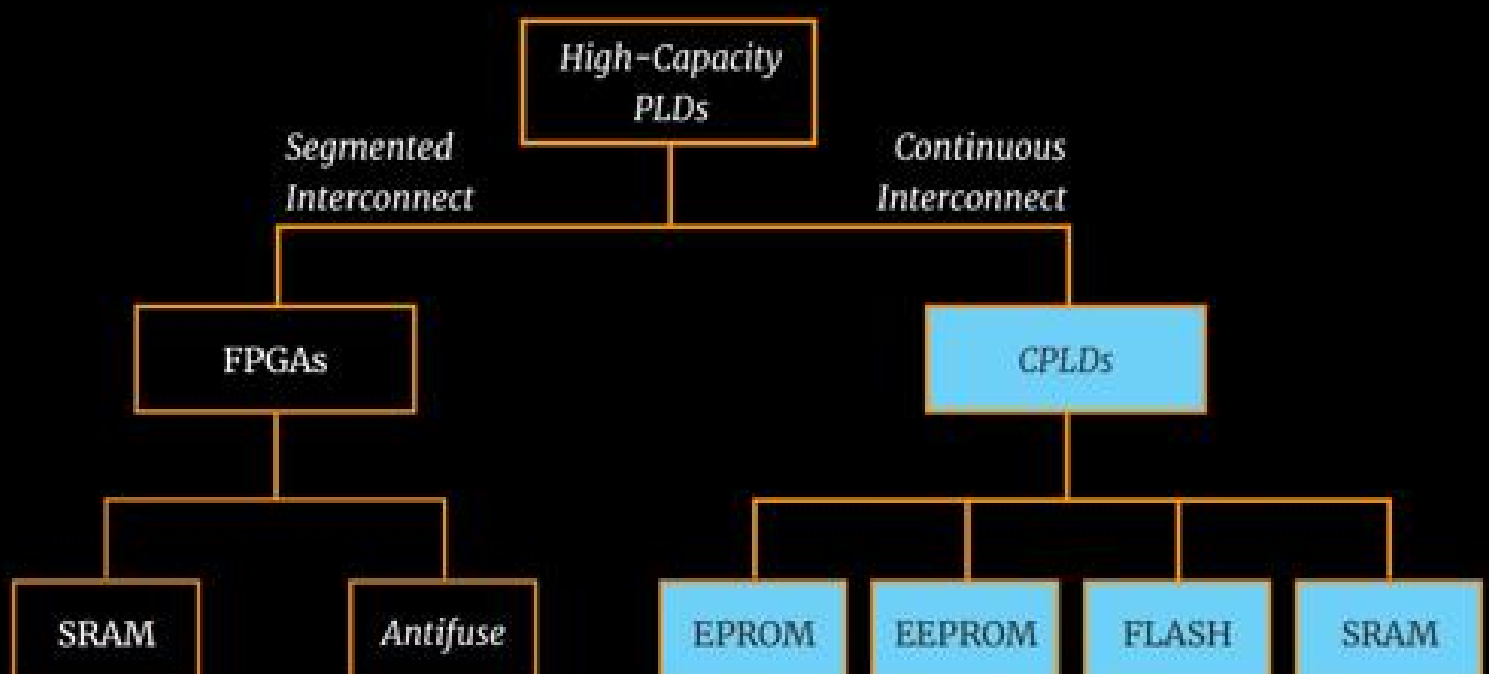
Usam tecnologia CMOS e oferecem elementos de memória do tipo EPROM, EEPROM e memória FLASH, e englobam os PALs, GALs e outros componentes.



PLDS DE ALTA CAPACIDADE (HCPLDS)

Os PLDs de alta capacidade (HCPLDs) oferecem mais de 600 portas e também utilizam tecnologia CMOS com memória EPROM, EEPROM, FLASH, SRAM.

Por HCPLDs entendem-se os dispositivos FPGA e CPLD que são programáveis e reprogramáveis, sendo esta última característica uma vantagem a mais para os projetistas de circuitos lógicos.






CONTEÚDO DO LIVRO

Os dispositivos lógicos programáveis (PLDs) têm como principal característica a capacidade de programação (configuração) pelo usuário, eliminando o processo de fabricação e facilitando assim as mudanças de projetos. Em comparação com outras tecnologias, os PLDs apresentam um ciclo de projeto muito curto e custos muito baixos.

Por meio da leitura do capítulo Dispositivos lógicos programáveis, do livro *Arquitetura de computadores e sistemas digitais*, que serve de base teórica para esta Unidade de Aprendizagem, você compreenderá um pouco mais sobre essa tecnologia.



ARQUITETURA DE COMPUTADORES E SISTEMAS DIGITAIS

Adriana de Souza
Vettorazzo

Dispositivos lógicos programáveis

Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Reconhecer a lógica programável.
- Identificar os componentes de um projeto utilizando os dispositivos lógicos programáveis.
- Classificar os dispositivos lógicos programáveis.

Introdução

Os dispositivos lógicos programáveis (*programmable logic devices* – PLDs) começaram a ser introduzidos na década de 1970, com o intuito de produzir circuitos de lógica combinacional que pudessem ser programados. O PLD é um *chip* no qual o *hardware* pode ser configurado para atender às diversas especificações. Em geral, os PLDs são usados para implementar funções lógicas, permitindo ao usuário programar o chip via *software*.

Neste capítulo, você vai compreender a lógica programável, bem como as etapas e os componentes de um projeto.

Lógica programável

Dispositivos lógicos programáveis (*Programmable Logic Device* ou PLDs) são circuitos integrados programáveis pelo usuário que possuem muitas portas lógicas e registradores ligados em um mesmo CI (circuitos integrados). Podem ser classificados como:

- circuitos digitais padrão;
- circuitos digitais de aplicações específicas — ASICs (*Application Specific Integrated Circuits*).

Os circuitos padrões necessitam de vários componentes externos para a realização de uma função específica. Os circuitos integrados ASICs precisam de um processo de fabricação especial, que requer máscaras específicas para cada projeto e tem como característica o longo tempo de desenvolvimento e custos extremamente altos. Geralmente, não necessitam de muitos componentes externos para a realização de uma função específica, pois sua alta densidade os torna aptos para a implementação de vários tipos de aplicação.

Nos dois casos, os CIs digitais possuem suas funções internas predefinidas, implementadas na sua construção no processo de fabricação. Os dispositivos lógicos programáveis não apresentam uma função lógica definida até que sejam configurados. Sua principal característica é a capacidade de programação das funções lógicas pelo usuário, eliminando-a do processo de fabricação do circuito integrado, o que facilita, assim, as prováveis mudanças de projeto.

Em comparação com outras tecnologias de CI digitais, os dispositivos de lógica programável apresentam um ciclo de projeto menor e custos reduzidos. Os controladores lógicos programáveis disponíveis no mercado brasileiro utilizam, na sua arquitetura, microcontroladores e circuitos integrados de aplicações específicas ASICs.

Esses microcontroladores, para executar seus programas de controle, realizam ciclos de busca e execução de instrução. O ciclo de busca da instrução não está diretamente relacionado com o processo no qual o controlador lógico programável está inserido, mas é a condição determinante para o microcontrolador executar o programa que está carregado na memória.

Família dos sistemas digitais

Em um projeto, é necessária a utilização de circuitos integrados para que o projetista implemente as funções necessárias nos projetos de computadores (Figura 1).

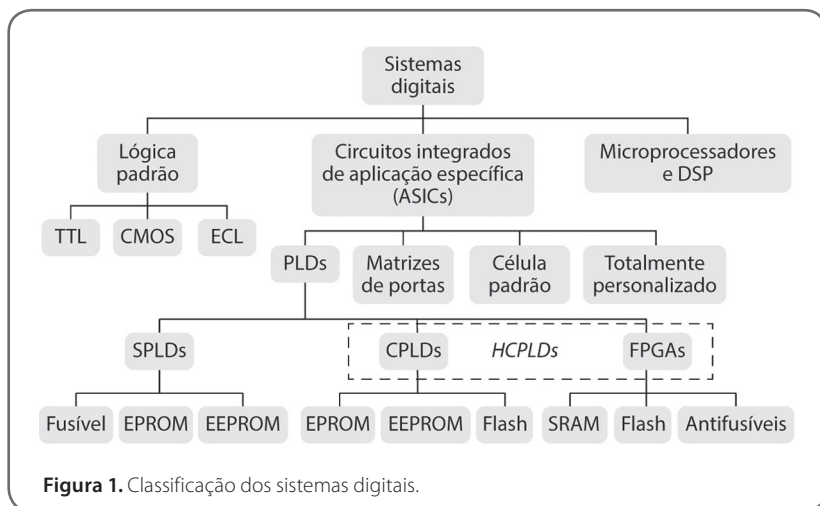


Figura 1. Classificação dos sistemas digitais.

A redução no número de CIs em um projeto acarreta inúmeras vantagens: além de menor espaço ocupado na placa de circuito impresso, também um menor consumo de energia, levando à utilização de fontes menores e mais baratas e maior confiabilidade no projeto, uma vez que possui um número menor de interligações e velocidades mais altas.

Para diminuir o número de CIs padrão de um projeto, é necessário colocar mais funções dentro de um *chip*, o qual foi conseguido com o desenvolvimento de técnicas de integração.

O desenvolvimento dessas tecnologias de programação de *hardware*, as quais permitem realizar ou desfazer conexões, era o que faltava para desenvolver componentes cuja função fosse programável pelo usuário para realizar funções diversas e específicas. Como vimos, PLD é todo circuito de lógica digital configurado pelo usuário final, incluindo simples, baixa densidade e alta capacidade utilizados para implementar funções lógicas. A programação é feita por meio de campos elétricos induzidos no dispositivo e via *softwares* especiais fornecidos pelos próprios fabricantes desses produtos. Os PLDs são

oferecidos em diferentes arquiteturas, e uma variedade de elementos de memória são disponíveis para a configuração do dispositivo.

Dispositivos lógicos programáveis

Esses dispositivos estão classificados da seguinte forma (Figura 2).

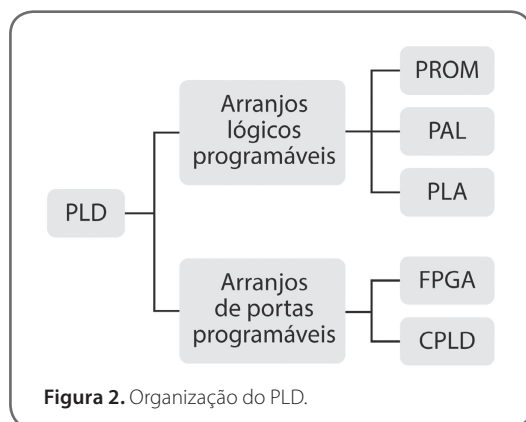


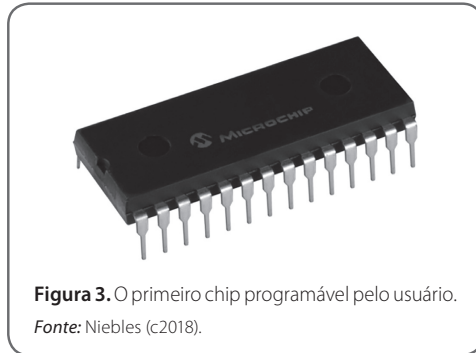
Figura 2. Organização do PLD.

A seguir, cada um desses dispositivos será detalhado.

Arranjos lógicos programáveis

Um arranjo lógico programável consiste em um circuito que possui uma estrutura interna baseada em um conjunto de portas *AND-OR* (o conjunto de portas *AND* e *OR* é chamado de arranjos).

As entradas desse circuito são ligadas às entradas das portas *AND*, as saídas das portas *AND* são ligadas às entradas das portas *OR* e suas saídas representam as saídas do circuito. Um exemplo de arranjos lógicos é a memória PROM (**memória ROM programável**), uma memória apenas de leitura que pode ser gravada uma vez pelo usuário através da queima dos fusíveis internos. Na memória PROM (Figura 3), o arranjo *AND* é predefinido em fábrica (arranjo fixo) e somente o arranjo *OR* é programável.



Arranjos de portas programáveis

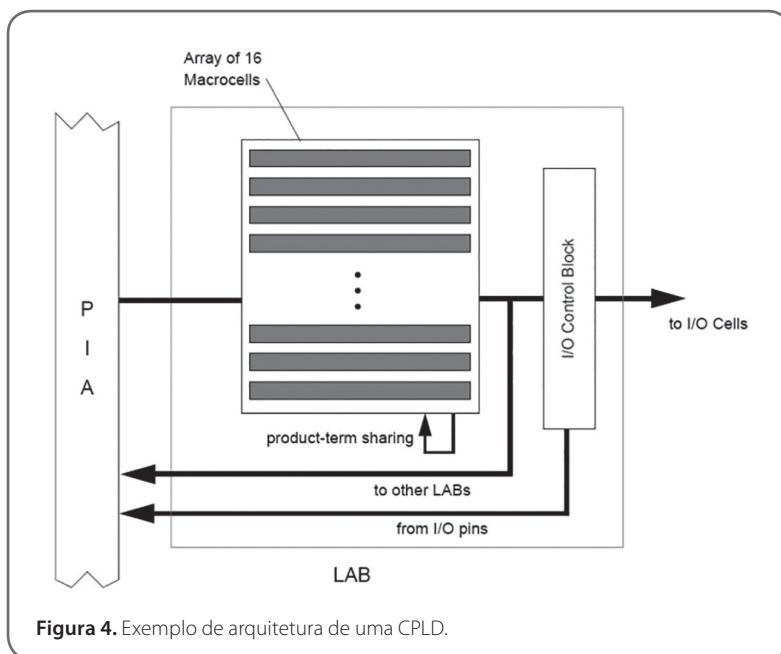
Os arranjos de portas programáveis são estruturas mais genéricas e versáteis que as baseadas na estrutura tradicional *AND-OR* dos arranjos lógicos programáveis.

A principal vantagem desse tipo de circuito é a possibilidade de reprogramação do comportamento de um circuito quantas vezes forem necessárias, ao contrário dos arranjos lógicos programáveis, que só podem ser programados uma vez, ou seja, uma vez definida sua função lógica, ela não poderá ser mudada.

Um exemplo são os *complex* PLD (CPLD), que são dispositivos programáveis e reprogramáveis pelo usuário, com alto desempenho, baixo custo por função e alta capacidade de integração. Um CPLD pode ser aplicado, por exemplo, como uma máquina de estado ou decodificador de sinais, substituindo centenas de circuitos discretos que implementariam a mesma função. Os CPLDs implementam capacidade lógica de até 50 dispositivos PLDs típicos (Figura 4).

Suas principais vantagens em relação aos circuitos discretos ASICs tradicionais são:

1. Programabilidade e reprogramabilidade: permite que funções lógicas possam ser alteradas, simplificando o desenvolvimento de protótipos.
2. Tecnologia CMOS: menor consumo de energia elétrica.
3. Integração em larga escala: redução de tamanho da placa de circuito impresso, pois possibilita a eliminação de diversos componentes discretos.
4. Simplificação e redução do tempo de desenvolvimento: simplifica e reduz o tempo de desenvolvimento da placa de circuito impresso, pois permite que o projetista defina os sinais elétricos conforme desejado — entradas ou saídas podem ocupar o mesmo terminal do dispositivo.
5. Teste e depuração: As linguagens utilizadas na programação do dispositivo permitem a simulação, o teste e a depuração rápida do protótipo



Dispositivos lógicos programáveis simples (SPLD)

Os SPLDs (*Simple Programmable Logic Devices*) são circuitos que possuem uma estrutura interna baseada em um conjunto de portas AND/OR denominados arranjos lógicos, podendo, ou não, possuir *flip-flops* na saída, dependendo da configuração.

É a categoria de todos os pequenos PLDs, nos quais as características mais importantes são baixo custo e alto desempenho:

- EPROM;
- EEPROM;
- *Flash*.

EPROM

EPROM, ou *Erasable Programmable Read-Only Memory* (Memória Somente de Leitura Programável Apagável), caracteriza-se por conseguir ser apagada. Para isso, no entanto, é necessário expô-la a uma forte luz ultravioleta. A regravagem após esse procedimento requer uma tensão ainda maior do que nas vezes anteriores, causando desgaste após um ciclo de aproximadamente mil reescritas.

EEPROM

EEPROM é a sigla para *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (“memória somente de leitura programável apagável eletricamente”). É uma espécie de versão mais moderna da EPROM, que pode ser apagada e reescrita via eletricidade, e não por luz ultravioleta. Uma das vantagens deste método é que a EEPROM não precisa ser retirada do circuito para ser limpa ou reprogramada.

Flash

A memória *flash* ou *flash ROM* é um tipo de EEPROM que também é apagada via eletricidade. O que a difere é sua incapacidade de excluir apenas um dado; na *flash*, é necessário reprogramar todo o seu conteúdo.

A memória *flash* mais comum no dia a dia é a NAND. Ela está presente em *pendrives*, cartões de memória, SSDs, servindo ao usuário comum para transferência de dados. O principal motivo para isso é sua maior capacidade de armazenamento por *chip*, resultante de uma maior densidade nas linhas de *bits*. As flash NAND também podem ser apagadas e reescritas mais rapidamente, outra razão que a leva ser ideal para operações em que se necessita de armazenamento não volátil, mas alterável com facilidade.

Dispositivos lógicos programáveis de alta complexidade (HCPLD)

Nos HCPLD, estão os CPLDs, que são os dispositivos programáveis complexos, e os FPGAs (*Field Programmable Gate Array*), que são PLDs com uma estrutura que permite uma capacidade lógica muito grande e oferece mais estruturas lógicas, *flip-flops* e outros elementos.



Fique atento

A diferença fundamental entre um CPLD (dispositivo lógico programável complexo) e um FPGA está na estrutura de constituição dos barramentos.

Um CPLD é constituído por barramentos contínuos, enquanto um FPGA, por barramentos segmentados.

Nos CPLDs, temos as EPROM, EEPROM e *flash*, como vimos anteriormente. Já nos FPGAs, temos:

- SRAM.
- *Flash*.
- Antifusíveis.

SRAM

SRAM são memórias que contam com um grupo de seis transistores para o armazenamento de cada *bit*. Em consequência, ocorre uma drástica redução no tempo de acesso, pois são evitados os atrasos criados pelos processos de carga e descarga elétrica em cada acumulador.

A presença de transistores melhora o rendimento das memórias estáticas, mas implica uma renúncia à alta densidade de armazenamento, típica das memórias DRAM. O resultado é um considerável aumento no tamanho físico nos módulos de memória SRAM e, também, em seu custo de produção, o que impossibilita usá-la como memória principal.

Antifusíveis

Antifusíveis são, originalmente, circuitos abertos e tornam-se baixa resistência apenas quando programados, daí o nome “anti”. Antifusíveis são adequados para FPGAs porque eles podem ser construídos usando tecnologia CMOS modificada.

No Quadro 1, a seguir, são apresentadas as características mais importantes da programação de tecnologias. A coluna mais à esquerda indica se as chaves programáveis são programáveis uma única vez (*one-time programmable*, OTP) ou se podem ser reprogramáveis (RP). A coluna seguinte mostra se as chaves são voláteis, ou não, e a última coluna, a tecnologia utilizada.

Quadro 1. Características da programação

Tipo	Reprogramável	Volátil	Tecnologia
Fusível	Não	Não	Bipolar
EPROM	Sim, fora do circuito	Não	UVC MOS
EEPROM	Sim, dentro do circuito	Não	EECMOS
SRAM	Sim, dentro do circuito	Sim	CMOS
Antifusível	Não	Não	CMOS+

Diferenças básicas entre CPLD e FPGA

Ambos são dispositivos lógicos programáveis e, muitas vezes, são produzidos pelas mesmas companhias. Podemos destacar diferenças entre as tecnologias associadas, como mostra o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2. Diferenças entre as tecnologias

FPGAs	CPLDs
Contêm muitos e pequenos blocos lógicos com <i>flip-flops</i> (até da ordem de 1.000.000).	São compostos por um pequeno número (algumas centenas) de grandes blocos lógicos.
Tipicamente, são baseados em RAM, o que significa que perdem sua programação depois que a alimentação é desligada. Portanto, precisam ser reconfigurados (reprogramados) após cada corte de energia.	São baseados em EEPROM, mantendo sua programação após desligar a alimentação.
Têm recursos de roteamento especiais para implementar de maneira eficiente funções aritméticas e RAM.	Têm um tempo de resposta melhor por serem compostos de alguns poucos grandes blocos lógicos. Em contrapartida, essa característica lhe dá menos flexibilidade.
Podem ser usados em projetos grandes e complexos.	Estão restritos a projetos bem menores.



Saiba mais

- **Circuito de aplicação específica (ASIC):** circuito integrado projetado especialmente para uma determinada função e sistema digital.
- **Lógica programável:** circuito que pode ser customizado e reprogramado para realizar diversas funções. Compromisso: custo x tempo de projeto x desempenho



Referência

NIEBLES, M. *Historia de la memoria ROM*. c2018. Disponível em: <<https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-memoria-rom>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

Leituras recomendadas

FERREIRA, E. C. *Circuitos lógicos programáveis*. 2012. Disponível em: <<http://www.demic.fee.unicamp.br/~elnatan/ee610/24a%20Aula.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

FREGNI, E.; SARAIVA, A. M. *Engenharia do projeto lógico digital*. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

TOCCI, J. R.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. *Sistemas digitais: princípios e aplicações*. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS



DICA DO PROFESSOR

O FPGA é um tipo de dispositivo lógico de programação de alta capacidade que faz parte dos arranjos de portas programáveis. Eles são conjuntos de circuitos lógicos, chamados blocos lógicos e fontes de interconexão. A configuração do FPGA é feita pelo usuário final e ele é responsável por um grande progresso na forma como os circuitos digitais são projetados.

No vídeo a seguir, você verá o fluxo de um projeto utilizando FPGA.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



EXERCÍCIOS

- 1) **Sobre os dispositivos lógicos programáveis (PLDs), o FPGA:**
 - A) tem dois tipos básicos de componentes, denominados tabelas de consulta e matrizes de chaveamento.
 - B) tem bibliotecas de portas ou de circuitos lógicos conhecidas como células.
 - C) utiliza os arranjos de portas como componente principal, implementando circuitos sequenciais.
 - D) utiliza um *chip* com transistores pré-projetados, formando filas de portas lógicas.
 - E) tem, como princípio fundamental, o fornecimento de sinais elétricos aos sensores que monitoram as saídas de outras máquinas.

2)

Os controladores lógicos programáveis (CLPs) têm algumas características que os tornam adequados para emprego em automação. Dentre as alternativas abaixo, verifique as que representam essas características:

I. Ocupam menor espaço e têm manutenção mais fácil e rápida;

II. São dispositivos de controle de fácil programação;

III. Têm tamanho de memória fixa e não permitem sua expansão;

IV. São compatíveis com vários tipos de sinais de saída e entrada.

São verdadeiras as alternativas:

A) I e II.

B) I, II e III.

C) I, II e IV.

D) II, III e IV.

E) I, III e IV.

3) Quanto ao princípio de funcionamento dos dispositivos lógicos programáveis (PLDs), analise as afirmativas abaixo:

I. A inicialização verifica o funcionamento eletrônico da CPU.

II. Ao verificar o estado das entradas, o PLD lê o estado das entradas e verifica se alguma foi acionada.

III. Na transferência para a memória, o PLD armazena os resultados obtidos em uma região da memória.

IV. O PLD escreve o valor contido na memória das saídas, atualizando as interfaces ou módulos de entrada.

As alternativas corretas são:

A) I e II.

B) I, II e III.

C) I, II e IV.

D) I, III e IV.

E) II, III e IV.

4) Assinale a alternativa que corresponde aos circuitos integrados de aplicação específica:

A) PLDs

B) TTL

C) CMOS

D) ECL

E) DSP

5) Os dispositivos lógicos programáveis (PLDs) podem ser arranjos lógicos programáveis e arranjos de portas programáveis.

Dentro dessas divisões, podemos citar:

A) PROM

B) TTL

C) CMOS

D) ECL

E) DSP



NA PRÁTICA

FPGAs (*Field-Programmable Gate Arrays*) são *microchips* programáveis utilizados em diversos setores da indústria e presentes onde desempenho, paralelismo e tempo real são cruciais. Confira a seguir alguns exemplos de sua utilização.

APLICAÇÕES EM QUE O FPGA É UTILIZADO

PROCESSAMENTO DE SINAL DIGITAL:

É usado para interpretar padrões digitais em todos os tipos de tecnologia.



SETOR AUTOMOTIVO:

Compõe dispositivos que servem como multissensor, plataforma multiuso para assistência ao motorista, plataforma de vídeo de alta resolução, plataforma de conectividade de veículos, além de poder ser usado em plataformas de processamento e reconhecimento de imagens.

COMPUTAÇÃO VIRTUAL:

- ◆ Na computação escalável em que as partes críticas dos algoritmos são implementadas em *hardware* (FPGAs);
- ◆ Na programação orientada a objetos em *hardware*: onde os objetos são algoritmos implementados em FPGAs.



OUTROS EXEMPLOS:

ÁREA DE APLICAÇÃO	EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO
Telecomunicações	Interfaces ISDN, SONET, fibras ópticas, equipamentos PBX, criptografia
Industrial	Controle remoto, equipamentos médicos, robótica
Transporte	Semáforos, sistemas de estrada de ferro
Periféricos	Impressoras, modems, controladores de disco e vídeo, decodificadores de áudio digital



SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

O que é CLP: Quais as três principais partes do CLP

Veja no vídeo a seguir as principais partes de um Dispositivo lógico programável.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

Como funciona o CLP

No vídeo a seguir, veja mais informações de como funciona um dispositivo lógico programável.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

CLP – Controlador Lógico Programável – Parte 1

No *site* a seguir, você poderá compreender melhor as aplicações dos dispositivos lógicos programáveis.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

